

Iconomie de l'automobile*

Institut de l'iconomie

15 septembre 2015

Le but de cette étude est de porter un diagnostic sur les perspectives de l'automobile dans l'*iconomie*¹.

Dans l'iconomie, l'automobile n'est plus un *bien mécanique* que son consommateur *possède*, mais un *service informatisé* qu'il *utilise*. L'industrie automobile, qui fut la reine de l'économie du XX^e siècle, est ainsi confrontée à une mise en cause de la nature de son produit et de son marché.

Sera-t-elle au XXI^e siècle l'esclave du langage performatif de la programmation informatique², ou saura-t-elle redéfinir son identité afin de le maîtriser ?

Et aussi, que deviendra l'utilisateur ? Il était responsable de la conduite, au risque de se trouver broyé dans la carcasse accidentée du véhicule. Sera-t-il désormais, dans le berceau mobile de la voiture automatique, aussi passif qu'un nourrisson ?

L'automobile a exprimé de façon exemplaire les enjeux économiques et symboliques de la mécanisation. Il lui faut maintenant apprendre à exprimer ceux de l'informatisation.

* Cette note a été rédigée à l'intention de France Stratégie. Contributeurs : Pierre-Jean Benghozi, Jean-Paul Betbeze, Jean-Pierre Corniou, Nicolas Cugier, Marc Desreumaux, Frédéric Lefebvre-Naré, Vincent Lorphelin, Gilles Moutet, Bernard Ourghanlian, Claude Rochet, Michel Volle.

1. Iconomie : économie et société où producteurs et utilisateurs tirent parti de la ressource documentaire et des automatismes que fournit l'informatisation.

2. John Austin, « How to do Things with Words », *Oxford University Press*, 1962.

Économie et symboles

L'automobile a été au XX^e siècle l'industrie emblématique de l'économie mécanisée. Elle a eu sur le système socio-technique des conséquences d'une ampleur analogue à celles qu'avait eues le chemin de fer au XIX^e siècle.

Industrie de masse fondée sur les grandes séries, elle a été aussi le symbole d'une promotion sociale par l'accès individuel à la mobilité et au statut qu'il confère. Elle a engendré une économie de la mobilité qui a transformé, partout dans le monde, les paysages et les modes de vie.

Sans l'automobile le tourisme n'aurait pas connu le même essor, les banlieues auraient été comprimées autour des axes ferroviaires, les centres villes auraient gardé leur caractère, les zones rurales seraient restées peu accessibles, les centres commerciaux et les hypermarchés n'auraient pas existé. Dans les pays industrialisés le XX^e siècle a été façonné par l'automobile plus que par toute autre industrie.

Il est difficile d'imaginer qu'à long terme chaque ménage ne dispose pas d'un logement, d'une voiture et d'un forfait Internet. Dans les villes denses les réseaux de transport, autopartage inclus, formeront un « tapis roulant universel » pour les personnes et leurs biens. En dehors de la ville dense, disposer d'un véhicule restera la solution la plus économique et la plus écologique : l'automobile est déterminante pour le désenclavement des territoires ruraux.

L'organisation de la production des automobiles a été un modèle pour toutes les autres industries : elle a été la pionnière du taylorisme, du fordisme, des groupes semi autonomes, de la robotisation, du toyotisme, etc.

Vers la fin du XX^e siècle l'automobile a entamé une mutation en sortant de son statut dominant « d'industrie des industries » pour emprunter des outils et techniques informatiques qu'elle n'avait pas inventés : alors que la voiture est encore pour l'essentiel un bien patrimonial produit par la mécanique elle s'apprête, non sans hésitations, à devenir un service informatisé rendu à des utilisateurs.

De plus le couple automobile/pétrole, qui a conduit à la domination du moteur à combustion interne pendant 120 ans, est remis en cause par l'inquiétude sur la disponibilité d'un pétrole à bon

marché et par l'impact environnemental du moteur à explosion, notamment dans les villes où va bientôt vivre 60 % de la population mondiale : l'automobile semble prête à divorcer du pétrole pour former un nouveau couple avec l'électricité.

Tout cela remet en cause les techniques de production, le modèle de diffusion (acquisition et possession individuelles) et la nature même du produit. Mécaniciens, motoristes et assembleurs, les industriels de l'automobile doivent s'ouvrir au monde extérieur d'une société informatisée qu'ils considèrent avec méfiance.

L'enjeu géopolitique

Qu'elle soit à l'arrêt ou en mouvement, l'automobile est un objet lourd et encombrant : une voiture, c'est dix mètres carrés de surface au sol et une masse d'une tonne et demie. C'est aussi un bien que l'on ne peut pas utiliser sans des infrastructures complexes et coûteuses. C'est enfin, certes, une solution au déplacement individuel mais qui ne peut pas à elle seule répondre à tous les besoins.

La gestion collective de la liberté individuelle implique des contrôles pour lesquels l'ingéniosité du régulateur a été sollicitée dès l'apparition des premières automobiles en Grande-Bretagne voici près de deux siècles : l'automobile est devenue une source de recettes fiscales ayant pour contrepartie des dépenses de régulation et de contrôle.

Ce produit a été plus que tout autre porteur d'une dimension symbolique autant qu'utilitaire : à la recherche d'une réponse fonctionnelle efficace au besoin de déplacement s'est ajouté un désir individuel de liberté et d'affirmation d'un statut social.

L'automobile a un pouvoir addictif qui pèse sur les décisions. Modifier cet équilibre micro-économique est délicat : la pression réglementaire sur les coûts et sur les conditions d'usage ne suffit pas pour que les automobilistes s'autodisciplinent et pour que les constructeurs limitent les puissances.

L'automobile a beaucoup apporté aux pays industrialisés : satisfaction individuelle, liberté des horaires et des itinéraires, emplois nombreux et qualifiés, ouverture des sites les plus reculés à la civilisation, accès au tourisme pour tous, etc. Les pays émergents veulent

maintenant en jouir eux aussi.

Dans ce bilan les victimes de la route comme des émissions de gaz toxiques et à effet de serre n'ont pas pesé lourd : ces dysfonctionnements ont été gérés comme des dégâts collatéraux d'un progrès indispensable.

Peut-il encore en être de même aujourd'hui, alors que nous commençons à percevoir l'impact systémique de l'automobile ? Qui doit positionner le curseur : le marché, avec l'arme du prix, ou l'État avec les lois et la fiscalité ? Et dans quel but ultime ?

En 2011, 80 millions de voitures particulières et d'utilitaires légers ont été produits et le stock mondial de ces véhicules était estimé à 800 millions tandis que la production de gaz à effet de serre sous forme de CO₂ avait atteint le niveau record de 31,6 milliards de tonnes dont la consommation de pétrole représentait 35 %.

On estime que vers 2020 la production annuelle d'automobiles devrait atteindre 120 millions et le stock dépasser 1,2 milliard de véhicules, pour atteindre 1,7 milliard en 2035.

Quelles seront les tensions induites sur les ressources naturelles, les matières premières, l'énergie, l'espace ? Quelles conséquences cela aura-t-il pour les villes, la santé publique, la vie en société, la planète ?

En toute chose le poison, c'est la dose : au-delà d'une certaine limite un bienfait se transforme en malédiction. Le rapport de Meadows & al. publié par le Club de Rome en mars 1972 a mis en évidence les tensions que la croissance de la population et de la production allaient imposer aux ressources naturelles.

Quarante ans après ces prévisions ont été confirmées : le rapport Randers, publié en mai 2012, constate que l'incapacité de la communauté humaine à se doter d'une vision et d'une gouvernance à long terme accroît le risque d'une rupture systémique avant la fin du siècle.

L'automobile ne peut plus avancer à l'identique, elle doit se transformer. La « crise de l'automobile » dans les pays matures n'est que l'expression de cette transformation subie plutôt que préparée et la même crise est en cours dans les pays émergents, confrontés eux aussi à l'exigence de satisfaire les besoins de mobilité de leur population tout en tenant compte de l'impact de l'automobile sur la société et sur les ressources naturelles.

Un consensus émerge : l'avenir de l'automobile s'appuiera sur l'informatisation et il sera nécessairement multimodal, multi-énergies, multi-choix.

Il s'inscrit dans le débat plus large qui considère le futur de la civilisation. Si l'évolution de la demande y contribue, elle ne peut pas suffire à dicter ses conclusions. Une stratégie volontariste s'impose mais aucun pays, aucun groupe social, aucune entreprise ne pourra en porter seul le poids. Il ne peut qu'être le résultat d'une réflexion rassemblant les industriels de l'automobile, de l'énergie et de l'informatique, les autorités responsables du transport, les États, des scientifiques et des représentants des citoyens et utilisateurs.

Le ressort de l'informatisation

L'informatisation de l'automobile a commencé avec la conception assistée par ordinateur introduite en 1966 par Pierre Bézier chez Renault. Elle s'est poursuivie en 1978 avec l'introduction de l'ABS (de l'allemand « *Antiblockiersystem* ») comme assistance automatisée au freinage.

Aujourd'hui l'électronique et l'informatique interviennent à tous les stades, de la conception à l'assemblage, du produit final à l'usage. L'usine est robotisée et nombre de fonctions du véhicule accomplies naguère par la mécanique sont confiées à des programmes informatiques. Les usages se déplacent vers la recherche d'*effets utiles* qui ne supposent plus de posséder une voiture mais exigent l'intervention d'un système d'information. L'automatisation de la conduite, stade ultime de la « délégation de conduite » qu'a initiée l'ABS, semble même possible.

L'utilisateur estime d'ailleurs que la voiture doit assurer une continuité avec les pratiques nouvelles que nourrissent le Web et les outils de la mobilité numérique. Comme nous l'a dit un ingénieur de Renault, « nos voitures sont conçues pour rouler à 190 km/h mais les clients, eux, voudraient des voitures conçues pour rouler avec un GPS ».

L'informatisation bouscule ainsi l'automobile dans son produit, son processus de production et ses usages. Alors que cette industrie maîtrise les codes du système technique mécanisé dont son produit a été exemplaire, elle doit maintenant intégrer des codes et règles

étrangers à sa culture.

Elle s'est depuis toujours focalisée sur les techniques qui permettent de concevoir et réaliser des « produits » et elle s'est peu intéressée aux usages qu'elle a longtemps jugés extérieurs à son modèle économique de production de masse : « tant qu'il y aura une demande, elle devra être satisfaite », tel a été le credo d'une industrie qui voit dans le « plaisir de conduire » la principale motivation de l'achat.

Mais son impact a dépassé le champ d'une logique de marché car au grand dam des constructeurs l'automobile exige une réglementation. Ils ont déploré, mais en vain, le durcissement des règles européennes en matière d'émission en 2020.

Dans la perspective de la transformation économique de l'automobile comme industrie et comme phénomène de société, les points sur lesquels il faut concentrer l'attention sont alors les suivants :

- la nature du produit « automobile » ;
- la façon dont elle est produite ;
- la façon dont elle est utilisée ;
- sa fonction de coût ;
- le régime concurrentiel de son marché ;
- les relations entre les entreprises qui concourent à sa production.

Nature du produit

Depuis son origine, l'automobile a intégré une grande diversité de techniques pour assurer les fonctions d'un transport autonome de passagers par un conducteur devenu, grâce à la Ford T, un non-professionnel : cela la distingue du ferroviaire et de l'aéronautique.

L'évolution de l'automobile a été conditionnée pendant ses quatre-vingt premières années par des progrès dans les matériaux, la performance des solutions, la fiabilité des composants mécaniques et des assemblages, la rationalisation des processus industriels et l'efficacité technique et commerciale du *design*.

Mais dans le système technique informatisé et connecté qui s'est imposé à partir des années 1970 nombre des fonctions assurées naguère par des organes mécaniques sont accomplies par des com-

posants et programmes informatiques qui permettent des performances auparavant impossibles (réglage dynamique du moteur, de la suspension et du freinage) ou qui sont nécessaires à l'évolution du véhicule (gestion des batteries des voitures électriques, ouverture sans clef, etc.).

Des services nouveaux sont offerts : géolocalisation, aide à la navigation, contrôle en temps réel de l'état du véhicule et des pneumatiques. Des automatismes sont proposés au conducteur pour l'aider à garer la voiture, voire pour assurer la conduite dans des situations spécifiques.

Les services qui entourent la voiture (conseil, assistance, financement, assurance, entretien, réparations, etc.) s'appuient eux-mêmes sur des processus informatisés. L'autopartage (Autolib) et le covoiturage (Blablacar) ne sont concevables que grâce à un système d'information qui procure un accès mobile et géolocalisé aux véhicules.

L'abondance de données qui en résulte est un enjeu. Si un équipementier capte des informations concernant les utilisateurs sous le prétexte de régler automatiquement les sièges, la température, le GPS, l'auto-radio, le téléphone, etc., leur possession peut être une arme pour dominer les réseaux de partenaires qui coopèrent pour concevoir, fabriquer et vendre des véhicules et des services multimodaux. Comme toute arme celle-ci pose des problèmes de sécurité, respect de la vie privée, liberté, etc.

L'informatique n'a pas supprimé la mécanique dans les fonctions physiques de base que sont la liaison au sol ou la protection contre les chocs, mais elle a enrichi ces fonctions en ouvrant des possibilités nouvelles, naturellement accompagnées de risques nouveaux liés à la multiplication des composants et interfaces : des chercheurs ont montré qu'il était possible pour un *hacker* malveillant de prendre le contrôle d'une voiture à distance et de mettre ses passagers en danger en manipulant son CAN (*Controller Area Network*).

« The modern automobile is run by dozens of computers that most manufacturers connect using a system that is old and known to be insecure. Yet automakers often use that flimsy system to connect all of the car's parts. That means once a hacker is in, she's in everywhere — engine, steering, transmission and brakes, not just the entertainment system »

(Zeynep Tufekci, « Why 'Smart' Objects May Be a Dumb

Idea », *The New York Times*, 10 août 2015).

La culture des constructeurs ne les a pas préparés à une approche professionnelle de la sécurité informatique : Volkswagen a engagé des poursuites contre les chercheurs qui avaient prouvé la vulnérabilité de son système de blocage anti-vol. Tesla, dont la culture est celle de l'informatique, est plus avisée : elle offre une prime de 10 000 \$ à tout chercheur qui aura découvert une vulnérabilité.

« Even the most professional of software companies with mature security programs have problems with their software, but in the auto industry, engineers often oppose having a way of patching bugs. There's a school of thought in industrial controls that making things updatable makes them more vulnerable. What they haven't paid attention is that when you use something like OpenSSL or Bash that is vulnerable and you can't update it, that makes it far worse. If they choose not to be updatable, it's a permanent vulnerability or you have to throw the thing away. Having remote updates does introduce a small attack surface and more complexity, but it's far worth it because of the agility and flexibility of response »

(Sean Gallagher, « Highway to hack : Why we're just at the beginning of the auto-hacking era », *Ars Technica*, 23 août 2015).

L'électrification de l'automobile – hybridation variable, électrification avec un stock d'énergie à bord (batteries) ou avec une production continue d'énergie (pile à combustible, recharge par induction) – est un autre ressort de l'évolution. Elle nécessite des solutions informatiques embarquées pour la régulation de la chaîne cinématique ainsi que pour la maintenance à distance et la gestion de la recharge. Le véhicule électrique peut avoir une architecture et une apparence nouvelles car il est allégé de l'usine thermique qu'exigent le moteur à explosion et le traitement de ses rejets.

Contrairement à d'autres industries comme l'électronique grand public la transformation qualitative du produit ne s'est pas encore produite : elle peut maintenant se déclencher. L'impact combiné de l'informatisation, de la connexion et de l'électrification va permettre une mutation face à des consommateurs informés et conscients mais

ce processus sera lent d'une part en raison de l'effet de parc (une voiture peut circuler pendant 25 ans), d'autre part à cause de l'inertie du comportement des constructeurs, peu audacieux, et aussi des utilisateurs.

L'automatisation de la production

L'industrie automobile, à l'origine une affaire d'artisans, a été le théâtre de la mutation industrielle du XX^e siècle. Henry Ford et Frederick Taylor ont inventé un modèle de production fondé sur la segmentation des gestes nécessaires à la production et leur répétition stricte pour garantir la qualité par la réduction de la dispersion. Ils ont ainsi préparé sa mécanisation ultime, la robotisation.

*Évolution du nombre d'heures de travail nécessaires pour produire une voiture*³

1900	1920	1930	1960	1972	2003
2000 à 4000	1000	500 à 1000	100	50	15 à 35

L'histoire de l'industrie automobile est celle d'une marche continue vers l'automatisation : la main-d'œuvre n'a cessé d'y régresser au profit d'une population d'ingénieurs, de techniciens, de designers, de spécialistes du marketing et de commerciaux.

*Évolution de la répartition des salariés de l'industrie automobile par catégorie socioprofessionnelle*⁴ (en %)

	1968	1982	1992	2002	2007
Ingénieurs et cadres	2,9	4,0	7,0	9,5	14,5
Professions intermédiaires	11,0	19,0	18,8	18,9	29
Employés	9,4	8,3	4,6	4,8	4,2
Ouvriers	76,7	68,7	69,5	66,8	53,3
Total	100	100	100	100	100

3. Serge Janouin-Benanti, *Le centenaire aux 1000 voitures*, Références, 2003, p. 369.

4. INSEE, Recensement de la population de 1968 et Enquêtes emploi de 1982 à 2007.

Le « Bilan de santé du Made in France⁵ » (*Usine nouvelle*, 18 février 2010) montre que le coût de la main d'œuvre est inférieur à 10 % du coût de production dans une usine d'assemblage française, ce qui relativise le discours qui explique les délocalisation par un écart des niveaux de rémunération :

- matières premières et composants : 55 %
- frais d'étude, frais généraux et marge : 30 %
- main d'œuvre directe : 9 %
- fiscalité et amortissement : 3 %
- autres coûts (logistique, etc.) : 3 %

L'informatisation implique d'automatiser toutes les tâches répétitives que la production nécessite : les usines sont robotisées et un système d'information assure l'orchestration de la logistique, de la *supply-chain* et des services qui accompagnent la voiture.

Les emplois nécessaires à la production de l'automobile ne résident plus dans la main d'œuvre qui réalisait les tâches répétitives exigées par la production des pièces et l'assemblage des véhicules, mais dans le *cerveau d'œuvre* qui accomplit d'une part la conception des modèles et la mise en place de leur production, d'autre part les services nécessaires à l'utilisation de l'automobile.

La formation des compétences du cerveau d'œuvre, la façon dont elles s'expriment dans la conception et dans les services, sont devenus l'enjeu essentiel des organisations. Le coût du travail nécessaire à la production se réduit tandis que les automates, dont le coût d'entretien et de supervision est relativement faible, représentent un coût fixe.

Électrique, hybride, hydrogène, etc.

Après cent trente ans d'adhésion sans partage au moteur thermique l'industrie automobile a renoué en 2009 avec ses sources historiques pour explorer toutes les voies imaginables face aux menaces sur l'énergie et l'environnement.

L'industrie automobile est condamnée à innover sur l'ensemble des composants de son offre : mode de propulsion, conception générale du véhicule, coût d'usage et qualité des services associés.

5. Cité dans le rapport *Enrayer le déclin du site automobile France*, ACSIA, juin 2012.

A l'aube du XX^e siècle trois types de motorisation s'affrontaient : la vapeur, en déclin, l'essence, en plein essor, et l'électricité qui suscitait alors beaucoup d'espoir. L'air comprimé a été expérimenté mais il sera vite abandonné faute d'autonomie pour le volume embarqué et en raison d'un rendement médiocre.⁶

Ni Renault, ni son partenaire Nissan ne proposent pour l'instant de voiture hybride mais ils ont misé sur la voiture électrique dès 2009 : l'alliance Renault-Nissan est devenue le premier constructeur mondial de véhicules électriques. Le plus vendu au monde est la Nissan Leaf, produite entre 2010 et fin 2014 à 158 000 exemplaires. Renault est le seul constructeur français qui offre une gamme de voitures électriques avec deux modèles, ZOE et Kangoo, auxquels s'ajoute le quadricycle Twizy⁷.

Avec des ventes cumulées en 2014 de 290 000 véhicules les États-Unis sont le pays où circule le plus grand nombre de véhicules à motorisations alternatives. La Chine vient ensuite avec 113 000 voitures devant le Japon, 104 000. La Californie, où règnent la voiture électrique Tesla et les hybrides menées par Toyota, Ford et GM, a stimulé le marché par une réglementation restrictive des émissions.

Le paradis de la voiture électrique est la Norvège où 65 200 voitures électriques ont été immatriculées en 2014, soit 12,5 % du marché automobile norvégien et 31 % des ventes en Europe. La Norvège aide massivement l'achat par une exonération de taxes et des aides à l'usage. Cette politique, paradoxale dans un pays riche de son pétrole, pourrait changer si le gouvernement décide de modifier sa fiscalité.

En France la voiture électrique commence à séduire. Alors qu'il ne s'en était vendu que 184 en 2010 le marché français, devenu le premier de l'Union européenne, a été en 2014 de 10 560 véhicules particuliers (sur

6. Cette idée a été récemment reprise en France par un inventeur tenace, Guy Nègre, et en Inde par Tata. PSA a annoncé un véhicule hybride/air dans le cadre du programme de recherche sur la voiture « 2 litres aux 100 ». Cette solution développée avec Bosch n'utilisait l'air comprimé que sur les courtes distances. PSA a aussi misé sur l'hybride diesel. Ces deux solutions ont été abandonnées à cause de l'impossibilité de trouver un partenaire pour les développer et les commercialiser : PSA se tourne maintenant vers l'hybride rechargeable essence.

7. La berline électrique Fluence a été victime de l'échec du projet de service de location de Better Place : cette entreprise a fait faillite en mai 2013 après un début de déploiement en Israël et au Danemark.

un total de 1,8 million de voitures) dont 56 % de Renault ZOE et 15 % de Nissan Leaf, et 4 485 véhicules utilitaires dont 59 % de Kangoo ZE. Le Twizy s'est vendu à plus de 15 000 exemplaires depuis son lancement.

La tendance se confirme en 2015 : on dénombre 9 305 ventes pendant les sept premiers mois, dont 60 % de Renault ZOE et 15 % de Nissan Leaf. L'onéreuse Tesla S a atteint 4,1 % de part de marché contre 3,1 % en 2014.

Les motorisations alternatives au pétrole s'affrontent dans un combat incertain où le marché arbitre en fonction de la séduction des offres et de leur rapport coût/valeur. Il n'existe pas de solution technique absolue car il faut toujours de l'énergie pour se déplacer, qu'elle soit produite à l'extérieur du véhicule (essence, gaz naturel, électricité, hydrogène) ou à bord (piles à combustible, air comprimé).

Pour être crédibles, les solutions alternatives doivent résoudre des problèmes complexes : poids, fiabilité, sécurité, autonomie, coût de production et coût d'usage. Si l'électricité peine à s'imposer c'est parce que cette équation n'est pas encore convaincante notamment en termes d'autonomie.

Dans un marché fragilisé une technique nouvelle ne peut s'imposer que si elle est en mesure de rassurer le consommateur sur un ensemble de paramètres : coût de possession, coût d'usage, valeur de revente, autonomie, fiabilité. Or le marché automobile est conservateur, notamment dans son réseau de distribution, et le client est sceptique face à une multiplicité de nouvelles technologies difficiles à comprendre et en outre instables : il hésite à acheter un véhicule dont il craint qu'il ne couvre qu'une partie de ses besoins et dont la valeur de revente est aléatoire.

Les flottes d'entreprise sont plus innovantes et peuvent, notamment pour la conduite en ville, considérer une offre si son intérêt économique est démontré. L'exemple de La Poste, avec ses 16 000 véhicules électriques, est jugé probant par les gestionnaires comme par les postiers qui conduisent ces voitures.

Toyota a le mérite d'avoir proposé un système hybride proche des normes de l'industrie et apportant des gains visibles d'agrément et de consommation. Après quinze ans et avec plus de sept millions de véhicules vendus (dont la « française » Yaris, en tête des ventes des hybrides en 2014 avec plus de 10 000 exemplaires), Toyota a

pris une avance que ses concurrents auront du mal à rattraper. Elle entend mettre cette expérience au service des véhicules utilisant des piles à hydrogène : la Mirai, en vente depuis fin 2014, est le premier modèle conçu pour la production en série.

Une percée technologique d'une autre nature ne pourra se développer que dans la longue période. Elle nécessitera beaucoup d'opiniâtreté et des moyens financiers que les constructeurs français ne peuvent réunir que dans le cadre d'un partenariat.

Les usages de l'automobile

Conduire sur un parcours varié est une tâche complexe car les obstacles sont multiples quand il faut emprunter un itinéraire sur des routes hétérogènes, en milieu urbain dense ou en rase campagne, faire face aux aléas du trafic, aux comportements imprévisibles des piétons et autres usagers, aux conditions météorologiques, au changement de la configuration de la route en cas de travaux, etc.

La compétence du conducteur, dont l'acquisition est obligatoire et réglementée, ne suffit pas à assurer une circulation sans défaut. Le coût humain de l'automobile est jugé intolérable par l'OMS : 1,3 million de morts et 40 millions de blessés chaque année dans le monde. En France, le coût économique annuel de l'insécurité routière est évalué à 22 milliards d'euros en 2013⁸.

Pour nombre de personnes, notamment les jeunes urbains, l'automobile n'est plus tant un symbole de statut social consommé par celui qui le possède qu'un instrument parmi d'autres (train, avion, transports en commun, etc.) pour satisfaire le besoin de déplacement dans des conditions de confort convenables. La possession, qui conditionnait auparavant l'usage, est d'ailleurs confrontée à une panoplie d'autres solutions : leasing, location, abonnement, partage, etc.

Sous l'impulsion de nouveaux arrivants comme Google le fantasme ancien de confier aux ordinateurs le soin d'assurer sa conduite en s'appuyant sur des informations stockées et sur d'autres acquises en temps réel semble se concrétiser. On parle de « voiture à délé-

8. Source : Observatoire national interministériel de la sécurité routière (ONISR).

gation de conduite » et de « voiture autonome ».

La délégation de conduite permet de couvrir une gamme de situations. Le travail du conducteur est assisté par de multiples copilotes, de l'assistance à la tenue de trajectoire et au freinage, désormais largement déployés sur les véhicules neufs, jusqu'à l'assistance au stationnement, à la régulation de vitesse liée au trafic et à l'automatisation totale dans les embouteillages. Ces assistances sont graduellement installées dans les véhicules de dernière génération, chaque modèle donnant l'occasion d'introduire des fonctions nouvelles.

Mercedes s'est fait une spécialité de ces équipements coûteux : la Mercedes Classe S en est le laboratoire roulant. Cependant les véhicules de milieu de gamme ont parfois en dotation de base des équipements qui auraient fait rêver il y a cinq ans.

La conduite automatique

C'est dans les seules publicités que l'on voit la voiture filer, dans un paysage magnifique, sur une route dégagée, sèche et sans aucun trafic. La réalité quotidienne est loin de l'image du plaisir de conduire : les voitures modernes sont équipées d'automatismes qui assistent le conducteur dans une tâche qui, dans les conditions réelles de la circulation, est complexe, fastidieuse, fatigante et dangereuse.

La perspective de la voiture autonome séduit donc. Des dessins proposent à notre imaginaire une automobile aménagée comme un salon : il n'y a plus de volant, les passagers de devant tournent le dos au sens de la marche. C'est une manifestation parmi d'autres de la tentation d'une automatisation totale.

L'année 2014 a confirmé cette tendance. Chaque constructeur a annoncé qu'il allait mettre « prochainement » sur le marché une voiture qui pourrait rouler sans que son conducteur ne s'occupe de cette tâche jugée désormais futile, conduire. Volvo, Daimler, Nissan, Ford, General Motors, Audi, BMW, Tesla ont tous annoncé la commercialisation « d'ici cinq à dix ans » de véhicules autonomes ou semi-autonomes, mais ils n'ont pas précisé la nature ni l'ampleur du service rendu.

La course vers la voiture sans conducteur est partie du désir

de Google de démontrer la suprématie de son système de cartographie, tellement précis qu'en suivant ses indications n'importe quel ordinateur pourrait faire parcourir à une voiture des centaines de kilomètres sans incident.

Les constructeurs ont réagi en démontrant qu'en équipant une voiture de capteurs, radars, scanners laser, outils de géolocalisation et servomoteurs, on pourrait en principe se passer du conducteur. Quelques dirigeants se sont fait filmer aux commandes d'un véhicule expérimental dont ils ne touchaient pas le volant, position peu naturelle. N'est-il d'ailleurs pas étrange que ceux qui disent encore que le « plaisir de conduire » déclenche à lui seul le désir d'achat envisagent de confier cette tâche à un automate ?

S'il est possible de faire rouler une voiture sur autoroute dégagée sans solliciter son conducteur, il faut que ce véhicule soit en mesure d'atteindre l'autoroute, puis de s'en dégager, par ses propres moyens. Si l'automate ne peut pas assurer en pleine sécurité la conduite en milieux variés il faut définir le moment où il doit rendre la main au conducteur.

Cela implique que celui-ci soit en permanence vigilant et que l'interface automate/humain soit fiable. L'exemple du pilote automatique des avions de ligne est à méditer : ils est parfois source d'une confusion aux conséquences fatales. La DARPA a lancé un programme de développement qui s'appuie plutôt sur la « symbiose de l'être humain et de l'ordinateur⁹ » :

« What we would like to do is use the humans for what the humans are really good at and the automation for what the automation is really good at. »

(John Markoff, « A Machine in the Co-Pilot's Seat », *The New York Times*, 20 juillet 2015).

Pour le moment l'automatisation totale, qui ferait de la voiture le véhicule parfaitement autonome à qui il faut seulement indiquer une destination, n'est qu'un rêve qui finira peut-être par s'ajouter au catalogue des promesses intenable de la science-fiction et des cabinets de *consulting*¹⁰. Les voitures sont en effet soumises à des

9. J. C. R. Licklider, « Man-Computer Symbiosis », *Transactions on Human Factors in Electronics*, mars 1960.

10. ATKearney, « Roadmap towards Autonomous Driving », 4 septembre 2015.

exigences beaucoup plus fortes que les avions, dont les conditions d'usage sont relativement simples à modéliser et à programmer.

Pour atteindre un niveau acceptable de fiabilité il faut multiplier les capteurs, les processeurs et les algorithmes complexes, et ils doivent être capables de se prémunir contre la défaillance d'un composant ou d'un programme.

La conception d'un tel équipement ne peut qu'être coûteuse. Beaucoup de travail sera nécessaire tant sur les logiciels que sur les capteurs et actionneurs avant de pouvoir commercialiser une voiture partiellement autonome.

Des solutions intermédiaires se déploient progressivement. De multiples capteurs et actionneurs ont été intégrés depuis l'apparition de l'ABS pour aider à la conduite ou se substituer au conducteur dans certains cas.

Une voiture moderne prend d'ores et déjà des décisions pour maintenir sa trajectoire avec l'ESP (*Electronic Stability Program*), assurer une vitesse constante avec le régulateur, améliorer l'adhérence en cas de pluie ou de neige, amplifier le freinage en cas d'urgence, avertir d'un franchissement de ligne ou du dépassement de la vitesse autorisée, tout en donnant au conducteur des informations sur son itinéraire.

La dernière Mercedes Classe S comprend une centaine de microprocesseurs pour s'acquitter de ces tâches, mais ces assistances ne se substituent pas au conducteur même si elles corrigent à la marge ses décisions lorsqu'elles sont inappropriées.

Il est vrai que le maillon faible de la conduite, c'est l'homme : 90 % des accidents sont dus à des facteurs humains. L'inattention, l'utilisation du téléphone au volant, la surestimation de ses capacités, la drogue et l'alcool sont leurs principales causes.

Il est donc naturellement tentant de mettre au volant un ordinateur doté de capacités sensorielles puissantes et dépourvu des limites biologiques de l'homme pour pouvoir tendre vers le zéro accident. On espère aussi des économies d'énergie, une réduction des embouteillages, des gains de temps.

On peut aussi imaginer que la voiture relaie le conducteur dans des situations fatigantes et sans intérêt : conduite dans un embouteillage, longs parcours sur route dégagée, manœuvres urbaines comme le stationnement, etc.

Pour atteindre l'automatisation complète de la conduite il faudrait que la machine fût exempte de défauts, et comment prévoir toutes les situations auxquelles le conducteur pourra être confronté ? Les démonstrations de conduite automatique ne sont pas encore probantes car elles se déroulent toutes dans un contexte simplifié et sans rapport avec la réalité routière.

Il faudra de toutes façons multiplier les capteurs, des processeurs faisant appel à l'intelligence artificielle, un GPS d'une précision centimétrique, des automatismes pour compenser la défaillance d'un composant ou d'un programme. Un tel équipement ne peut qu'être coûteux. Ainsi un Lidar (*Light Detection and Ranging*) qui collecte chaque seconde plus d'un million de données 3D sur son environnement coûte 50 000 €. Certes l'augmentation des volumes et l'innovation permettront une baisse de coût mais cet équipement restera réservé au haut de gamme.

Toyota a lors du CES 2013 pris ses distances avec l'automatisation totale en prônant une approche pragmatique par avancées techniques successives et en conservant le conducteur. L'humain, selon Toyota, doit rester en permanence en situation de contrôle. Cette piste est la plus vraisemblable : les constructeurs vont « simplement » étendre progressivement le champ des automatismes en commençant par le très haut de gamme pour en rentabiliser le coût.

Beaucoup de véhicules proposent déjà une assistance au stationnement en créneau dont les résultats sont encore imparfaits. On peut aussi disposer d'un régulateur de vitesse qui se cale sur le véhicule qui précède pour maintenir la distance de sécurité ainsi que de multiples aides à la vision, à la tenue de cap, au freinage, à l'évitement de collision.

Pour tester sans attendre ces technologies il est possible de s'offrir pour 140 000 € (!) la Mercedes 500 S Plug-in Hybrid, démonstrateur de tout ce qu'on peut mettre aujourd'hui dans une automobile et qui peut être équipé, en option, d'une assistance à la conduite dans les embouteillages.

Par petites touches, ces outils rendront la conduite plus sûre en dotant le conducteur d'un copilote vigilant et efficace. Des véhicules sans pilote pourront certes rendre des services mais ce sera sur des itinéraires précis, balisés et dans des espaces appropriés.

Fonction de coût et régime du marché

Le coût annuel de la production d'un modèle de voiture est de la forme :

$$c(q) = C + mq,$$

où C est le coût fixe annualisé, m le coût marginal et q la quantité produite. C comprend les coûts :

- du *design* du modèle : études préalables, maquette, principes de la solution technique ;
- de l'ingénierie du produit : conception technique détaillée de la voiture, programmation de ses automatismes ;
- de l'ingénierie de la production : conception des bâtiments et machines ;
- de l'investissement dans les équipements et logiciels qui assureront la production ;
- de l'ingénierie d'affaire pour la mise en place d'un partenariat.

Il faut dans ce calcul s'émanciper de la comptabilité, qui considère le coût des produits intermédiaires achetés à d'autres entreprises, pour établir la fonction de coût *physique* qui s'impose à l'ensemble des entreprises qui contribuent à la production : comme celle-ci est automatisée, le coût marginal est essentiellement celui des matières premières avant toute transformation.

Au coût de la voiture il faut encore ajouter celui du réseau des services qui concourent au produit « automobile » : conseil avant-vente, financement du prêt, location, entretien, assurance, équipement et entretien des routes, stations-service, recyclage de la voiture en fin de vie, etc. Le coût D de ce réseau est un coût fixe de dimensionnement qui résulte d'une anticipation de l'intensité de l'utilisation de l'automobile.

Certains des services sont rendus par des institutions que la statistique n'assimile pas au secteur automobile, mais qu'il faut pourtant prendre en compte dans le calcul de la fonction de coût (assurances, stations service, etc.), et en outre ils sont partagés entre plusieurs modèles de voiture : c'est le cas aussi pour les concessionnaires.

La fonction de coût de l'automobile est alors schématiquement de la forme :

$$C(q) = nC + D + mq,$$

en notant n le nombre des modèles (certains modèles partagent cependant une même plate-forme et les mêmes outils de production).

Une des transformations de la fonction de production automobile réside dans la mutualisation des composants que l'utilisateur ne voit pas autour de plates-formes et dans l'individualisation poussée des composants visibles. On peut penser que la voiture du futur sera personnalisée par son propriétaire comme l'avait imaginé Nicolas Hayek dans le concept initial de la Smart¹¹, mais la personnalisation se fera plutôt par logiciel : Autolib mémorise aujourd'hui, sur des voitures banalisées, la station radio préférée de chaque conducteur.

Supposons, comme il est vraisemblable, que le coût fixe de l'automobile (somme $nC + D$ du coût fixe de production des voitures et du coût de dimensionnement des services) sera beaucoup plus important que l'accumulation mq du coût marginal.

On peut alors considérer que la fonction de production de l'automobile est pratiquement « à coût fixe », et qu'il en est de même pour la fonction de production d'un modèle.

Dès lors le marché de l'automobile obéit nécessairement au régime de la concurrence monopolistique, chaque modèle ambitionnant un monopole sur un segment des besoins défini selon des critères culturels et sociologiques.

Ce régime du marché n'a pas attendu l'informatisation ni l'automatisation de la production : l'identification de segments, la définition de modèles qui leur correspondent, la concurrence par le prix envers les clients qui sont indifférents entre deux modèles sont depuis longtemps des caractéristiques du marché de l'automobile. Mais ce modèle classique peut être encore transformé par la fin de l'appropriation individuelle du véhicule : la mutualisation par le biais de flottes ou par l'autopartage va changer le marketing de l'automobile. La concurrence monopolistique portera alors sur les services plutôt que sur le modèle de voiture.

11. Nicolas Hayek, *Au-delà de la saga Swatch : entretiens d'un authentique entrepreneur avec Friedemann Bartu*, Albin Michel, 2006.

Relation entre les entreprises

Pendant longtemps les industriels de l'automobile ont cherché à concentrer entre leurs seules mains le savoir et les outils nécessaires à la réalisation d'un véhicule. Louis Renault possédait ainsi des forêts pour les châssis, fabriquait ses propres huiles, disposait de fonderies, de forges et d'une centrale électrique dans l'île Séguin.

Progressivement des fournisseurs spécialisés se sont détachés de cet ensemble hétérogène complexe à gérer et sont devenus sous-traitants ou filiales, subissant une dissymétrie de marché qui leur imposait des conditions économiques draconiennes.

Depuis la fin des années 1990 ces sous-traitants ont récupéré une part majeure de la conception et de la R&D et ils apportent une valeur ajoutée nouvelle au produit automobile. Des équipementiers comme Bosch ou Valeo ont été à l'origine d'innovations fondamentales. Leur autonomie, fondé sur l'innovation, leur confère une valeur de marché et une rentabilité supérieures à celle des constructeurs.

Ainsi s'amorce une évolution qui, partant de la relation donneur d'ordres/sous-traitant, se dirige vers un partenariat entre égaux.

Lorsque la fonction de production est à coût fixe le risque d'entreprise, très élevé, doit d'ailleurs être partagé avec des partenaires : l'évolution constatée rencontre celle qu'impose la structure des coûts.

Le coût de production se partage alors entre les entreprises partenaires, ainsi que les recettes que procurent la commercialisation du produit, selon un contrat qui, pour être équitable, doit garantir à chaque partenaire une rentabilité égale complétée par une prime proportionnée aux risques qu'il encourt¹².

L'apparition de nouveaux acteurs issus de modèles économiques différents va finir d'imposer le partenariat comme modèle dominant. Ni Google, ni Apple ne veulent devenir constructeurs d'automobiles, car ils ne souhaitent pas immobiliser le capital nécessaire à la construction d'usines de rentabilité faible, mais ils seront des gestionnaires de services positionnés aux nœuds de réseaux.

Bolloré a démontré avec Autolib que le véhicule devient secondaire par rapport au service. Les constructeurs classiques doivent composer à parité avec les fournisseurs de composants critiques

12. Voir l'annexe 1 sur les partenariats équitables.

comme les batteries ou l'équipement électronique. L'*open innovation* sera également un facteur : Tesla et Toyota ont montré, en libérant l'usage de leurs brevets, qu'ils avaient compris que le développement des solutions innovantes, hydrogène comme électriques, viendrait de la baisse des coûts des composants et donc du partage de l'innovation : il « suffit d'être leader ».

La voiture dans l'ïconomie

Dans l'ïconomie, la voiture n'est plus un objet industriel mais un instrument qui s'insère avec d'autres dans la « fonction de mobilité », service utile que le marché doit assurer au moindre coût technique, physique et environnemental.

Cette fonction de mobilité est par nature multi-modale et s'appuie sur deux infrastructures, l'une dédiée, le rail, l'autre polyvalente, la route (30 000 km d'un côté, un million de km de l'autre). La dissymétrie d'équipement et de coût en capital donne un avantage à la route pour la desserte de proximité et le dernier kilomètre, et un avantage au rail pour les transports de masse entre des *hubs*.

Les modèles de production et d'usage des outils de mobilité doivent tenir compte du coût du carbone émis. L'ïconomie, fondée sur les modèles de simulation et de régulation et bâtie sur une informatisation qui permet de produire des indicateurs détaillés et immédiats, offre une capacité d'optimisation des infrastructures et de la fonction de mobilité supérieure à celle des modèles historiques.

Un projet : l'Apple Car

Apple n'a pratiquement rien publié sur ce projet. Le senior vice-président Jeff Williams a seulement évoqué dans une conférence un « dispositif de mobilité ultime » (*ultimate mobile device*).

Les journalistes affirment cependant qu'Apple conçoit une voiture autonome, envisage d'acheter une ancienne base militaire pour la tester, débauche des chercheurs de Tesla et Mercedes Benz et fait travailler sur ce projet plusieurs centaines d'ingénieurs à Sunnyvale¹³. Les analystes

13. Mark Harris, « Documents confirm Apple is building self-driving car », *The Guardian*, 14 Août 2015.

financiers pensent qu'Apple sera un acteur majeur de l'automobile dès 2025 ¹⁴.

Les logiciels et services sont en effet devenus critiques sur ce marché, ce qui confère à Apple un positionnement unique. L'Apple Car est attendue sur des prestations haut de gamme en *design*, connectivité et automatisation ¹⁵ et elle devrait intégrer des services comme *Siri* (assistant vocal) ou *Maps* (cartes routières).

La stratégie d'Apple s'est focalisée sur la construction d'écosystèmes autour de ses systèmes d'exploitation : l'iPhone est ainsi une plate-forme d'applications tierces bâtie sur iOS (*HomeKit* le transforme en télécommande des appareils domotiques compatibles, *Healthkit* intègre des services de suivi de santé (nombre de pas, respiration, qualité du sommeil, etc.), *WatchKit* facilite le développement d'applications pour la montre connectée, etc.).

Il s'agirait maintenant de concevoir pour les automobiles le système d'exploitation qui intégrera toutes les applications disponibles et facilitera la mise en œuvre d'applications nouvelles : le saut qualitatif serait équivalent au passage du téléphone cellulaire au smartphone.

Une première étape a été franchie avec *CarPlay*, version d'iOS pour les voitures équipées d'un écran compatible : au tableau de bord s'ajoute un double de l'écran de l'iPhone pour des applications de géo-guidage, de musique ou de téléphonie. L'étape suivante serait celle de l'interface avec l'ordinateur de bord de la voiture, que Tesla offre déjà.

Puis il faudrait intégrer les fonctions offertes aujourd'hui par des applications indépendantes l'une de l'autre, par exemple l'optimisation du trajet avec *Waze*, le co-voiturage avec *BlablaCar*, la location de voiture entre particuliers avec *Getaround*, la réparation à domicile avec *YourMechanic*, réservation de parking avec *ParkWhiz*, la livraison de marchandises avec *SideCar*, la commande de voiturier au point d'arrivée avec *Luxe*, le score de qualité de conduite avec *Zendrive*, la prime d'assurance ajustée à cette qualité avec *Aviva* ou au nombre de kilomètres parcourus avec *Metromile*, etc.

14. Luke Kawa, « Here is why Carl Icahn thinks that Apple will surge to \$240 per share », *Bloomberg Business*, 18 mai 2015.

15. Neil Hughes, « Piper Jaffray sees 'apple car' as longterm project with potential short-term effect on stock », *AppleInsider*, 2 sept 2015.

Recommandations

Quelles sont les décisions qui peuvent favoriser l'accès de l'industrie automobile française à l'économie ?

Il faut tout d'abord qu'elle tire les conséquences d'un fait incontournable : *l'informatique est devenue la technique fondamentale de l'économie contemporaine*. Tandis que la mécanique n'offre plus de perspective significative de progrès l'informatisation du produit, du processus de production, de la relation avec les utilisateurs et, enfin, de l'utilisation elle-même est devenue la condition de l'évolution et de la compétitivité.

Un exemple significatif est donné par Tesla : ce constructeur est essentiellement un informaticien. La Tesla S, dont les fonctions sont commandées par un logiciel, évolue au rythme des mises à jour par téléchargement et ses utilisateurs ont eu la bonne surprise de lui voir ajoutés au fil du temps la commande vocale, l'information en temps réel sur les conditions de circulation, l'ajustement automatique de la suspension, etc¹⁶.

Les aides informatisées à la conduite seront bientôt jugées tellement banales qu'une voiture qui n'en disposera pas ne trouvera pas d'utilisateur : diagnostic et signalement des comportements à risque, « assurance au kilomètre » en fonction de l'usage réel, supervision en temps réel et contrôle à distance de l'état du véhicule, alerte des tierces parties concernées (police en cas de vol, secours en cas d'urgence médicale), connexion intelligente au domicile ou au bureau de l'utilisateur (commande du thermostat, des verrous, voire de la machine à café...), etc.

L'emploi, dans l'industrie automobile, doit par ailleurs *évoluer de la main d'œuvre vers le cerveau d'œuvre* : dans les usines robotisées ne restera pratiquement plus qu'un travail de supervision et de maintenance, qui emploie peu de personnes, tandis que les effectifs consacrés à la conception des produits, à l'ingénierie de la production et à la programmation des automates auront augmenté ainsi surtout que ceux qui assurent les services que le produit comporte et la relation avec l'utilisateur.

La sous-traitance aura fait place, prolongeant l'évolution déjà

16. Tien Tzuo, « Quand la situation de l'industrie automobile se met à ressembler à celle d'IBM en 1985 », *infoDSI*, 1er septembre 2015.

entamée, à un partenariat équitable. La relation entre partenaires obéira au « commerce de la considération ¹⁷ » ainsi d'ailleurs que les relations entre spécialités et entre personnes dans les entreprises : c'est là une condition nécessaire de l'efficacité du cerveau d'œuvre.

La possession individuelle étant devenue l'exception, le produit « automobile » sera essentiellement un service informatisé, articulé aux autres services qui contribuent à la fonction de déplacement (avion, train, transports en commun, taxi). La voiture, supervisée tout au long de son fonctionnement, sera recyclée en fin de vie sous la responsabilité du constructeur.

L'informatisation de l'automobile se concrétise enfin par une architecture évolutive de systèmes d'information qui assurent :

- la coopération du cerveau d'œuvre et de l'automate programmable dans le processus productif ;
- l'interopérabilité du réseau des partenaires qui concourent à la production ;
- la cohésion du produit que forment la voiture et les services qui lui sont associés ;
- la relation de service avec l'utilisateur ;
- le fonctionnement et la supervision de la voiture ;
- l'articulation avec les diverses offres qui contribuent à la fonction de déplacement.

On peut déduire de cette description une liste de critères qui permettront d'évaluer à chaque instant la situation de l'industrie et de chaque constructeur en regard de la perspective de l'économie, et aussi de comparer les industries des divers pays.

Le chemin vers l'économie ne sera pas facile pour des constructeurs fiers d'une système mécanique qu'ils ont perfectionné progressivement : leur culture résiste, ainsi que la sociologie interne des pouvoirs et spécialités.

Ceux d'entre eux qui avancent dans l'informatisation avec réticence et comme à reculons vont rencontrer des concurrents agiles qui, conscients des besoins des utilisateurs, leur prendront des parts de marché ou s'installeront dans les étapes les plus rentables de la création de valeur.

Déjà certains stratèges de l'industrie automobile disent la crainte que leur inspirent Google, Apple et autres géants de l'informa-

17. Voir l'annexe 2 sur le commerce de la considération.

tique¹⁸ : c'est une première étape vers la prise de conscience des exigences de l'économie.

Une stratégie pour l'industrie française

L'automobile a 130 ans. Elle s'est perfectionnée en fiabilité et performance mais sa structure physique n'a pas fondamentalement changé alors que son environnement s'est radicalement transformé :

- le développement des villes où vont bientôt vivre les deux tiers de l'humanité insère le déplacement individuel dans une logique collective de massification ;

- la disponibilité des moyens de communication mobiles permet à tout utilisateur de trouver facilement la réponse la plus pertinente à son besoin de déplacement ;

- la population a pris conscience des conséquences des déplacements sur l'émission de gaz à effet de serre et de polluants chimiques, sur le bruit et sur la santé publique ;

- la réglementation de l'usage s'est durcie, notamment en ce qui concerne la vitesse autorisée qui ne dépasse plus 130 km/h en France. la possession d'une voiture individuelle n'est plus la seule réponse au besoin de déplacement ;

- l'offre de transport public dans les espaces urbains s'est améliorée dans le confort du matériel et dans la qualité de service ;

- des plates-formes informatiques offrent un moyen commode et peu coûteux pour rapprocher l'offre et la demande : cela a fait naître des services d'auto-partage et de covoiturage dont le succès est croissant ;

- les utilisateurs cherchent à réduire le « coût total d'usage » de la voiture en pratiquant le prêt, le partage, la location ponctuelle, et en ralentissant le rythme de renouvellement de la voiture : l'âge moyen du parc a continué de croître en 2014 pour atteindre 8,7 ans.

Si les constructeurs français ont depuis une dizaine d'années

18. Daimler, Audi et BMW ont payé trois milliards de dollars pour acheter le système de cartographie de Nokia : ils craignent que Google, Apple et Baidu ne fixent un prix trop élevé pour l'utilisation de leurs cartes (Philip E. Ross, « Why Three German Carmakers Will Pay \$3 Billion for Nokia's Mapping Service », *IEEE Spectrum*, 4 août 2015). Voir aussi Jack Ewing, « Apple and Google Create a Buzz at Frankfurt Motor Show », *The New York Times*, 17 septembre 2015.

entrepris de faire évoluer leur offre pour répondre à ce nouveau contexte, c'est sous la pression de la réglementation et pour donner aux utilisateurs une image à la fois technologique et respectueuse de l'environnement. Ils n'ont toutefois pas remis en cause le modèle historique de possession et d'usage de la voiture individuelle : leur marketing et leur communication continuent à s'appuyer sur la symbolique de la puissance et du plaisir de conduire.

Le nombre des voitures ne diminuera pas à court terme car le taux de motorisation des ménages ne baisse pas dans les villes de plus de 100 000 habitants : 81 % d'entre eux étaient motorisés en 2014 contre 75 % en 1995. Ce taux progresse depuis 2007 dans l'agglomération marseillaise (81 %), il diminue légèrement dans les agglomérations parisienne (62 %), lyonnaise (71 %) et lilloise (77 %). Les ménages ruraux, qui dépendent largement de la voiture individuelle, sont multi-motorisés.

La voiture de demain sera petite

Dans le contexte de la mondialisation la France dispose d'une offre d'excellence dans les voitures petites et moyennes, segments qui couvrent l'essentiel des besoins de mobilité aussi bien dans les pays matures que dans les pays émergents. *C'est sur ce socle d'expertise qu'il faut construire l'industrie automobile française de demain.*

Le qualificatif « haut de gamme » a été attribué aux grosses voitures puissantes dans lesquelles l'industrie allemande s'est spécialisée. Elles devraient plutôt être qualifiées de « haut luxe » car le vrai « haut de gamme » réside désormais dans la qualité des services et la valeur d'usage que procure l'informatisation.

L'Agence Internationale de l'Énergie juge impératif de ne pas dépasser 450 ppm de CO₂ dans l'atmosphère pour limiter à 2°C l'élévation de température sur la Terre (le taux est aujourd'hui de 400 ppm). Il faudra pour cela réduire l'émission moyenne des voitures européennes à 80 g/km en 2020 et 60 g/km en 2025.

Le marché français a démontré le bénéfice environnemental des petites voitures :

- le parc automobile comportait fin 2014 44,6 % de voitures d'une puissance fiscale inférieure à 6 CV contre 38 % en 2000. Les petites (54 %) et moyennes (30 %) représentent 84 % du marché français. ;
- l'émission moyenne de CO₂ a été en 2014 de 122 g/km en Europe,

112 g/km en France et 134 g/km en Allemagne ;

- les motorisations hybrides et électriques ont en France une part de marché respective de 2,4 et 0,6 %, donc faible mais croissante, et leur contribution à la baisse des émissions reste marginale.

La circulation des véhicules sur le territoire français a augmenté de 36 % depuis 1990 tandis que leur émission nette des énergies renouvelables n'a crû que de 7 %. Le progrès unitaire est donc indéniable mais l'augmentation du nombre de voitures et le vieillissement du parc rendent difficile la baisse nette du volume des émissions.

Changer de modèle pour réduire les émissions

Pour atteindre cet objectif il faudra agir sur tous les paramètres : réduire le nombre de véhicules en circulation en mutualisant l'usage, réduire l'usage des véhicules individuels, limiter les vitesses effectives et surtout renouveler le parc avec des voitures légères.

La principale cause de la consommation de carburant, et donc d'émission de gaz à effet de serre, est en effet la masse du véhicule : une masse supplémentaire de 100 kg induit un accroissement de la consommation de 0,7 litres de carburant pour cent kilomètres.

Il faut donc alléger le véhicule, réduire la puissance et améliorer l'aérodynamisme et la résistance au roulement. Ce travail minutieux impose de réviser les choix faits voici plusieurs années et qui ont conduit à l'obésité des véhicules, toujours plus longs, plus larges, plus équipés et plus puissants.

Il faut choisir des matériaux moins lourds mais coûteux et dont la mise en œuvre en grande série est difficile (aciers spéciaux, composites, aluminium, fibre de carbone, voire magnésium, etc.), renoncer à des accessoires à l'utilité contestable (par contre les services que rend le logiciel ne pèsent rien), repenser des éléments classiques comme les sièges : telle sera la nouvelle définition du « haut de gamme ». Cette évolution de la conception du véhicule s'inscrit exactement dans la culture iconomique qui fait converger l'innovation technique et l'innovation d'usage grâce au partenariat de plusieurs acteurs.

Le concept car hybride rechargeable de Renault Eolab, produit dans la cadre du programme « 2 litres aux 100 » de la « Filière Automobile & Mobilités » (PFA), a montré que l'effort pour produire une voiture pesant

moins d'une tonne implique la coopération de multiples acteurs agissant chacun sur un des composants du véhicule. Cependant les batteries sont lourdes : elles représentent 150 kg dans la masse d' Eolab. Si les véhicules hybrides ou électriques à batterie embarquée réduisent les émissions, ils ne satisfont pas l'objectif de réduction de la masse.

Compacte, légère et dotée d'un moteur électrique, hybride ou thermique optimisé, la voiture du futur ne sera pas conçue pour dépasser la vitesse de 130 km/h. Elle ne sera sans doute pas totalement autonome mais elle sera « intelligente » car connectée et équipée des services de « délégation de conduite » que permet l'informatisation.

Pour inciter les utilisateurs et les constructeurs à changer de comportement et accélérer la transformation, nous recommandons de fonder la fiscalité de l'automobile sur un critère unique, indiscutable et qui ne souffre aucun artifice de calcul, *la masse du véhicule*.

* *

Qu'il s'agisse de la *produire* ou de la *conduire*, l'automobile fait apparaître à vif le conflit d'orientation dont l'informatisation est l'objet entre la perspective d'une automatisation totale avec, à la limite, l'émergence de la « singularité » qu'évoque Ray Kurzweil¹⁹, et celle qui tient compte, avec Damasio²⁰, de la capacité exclusive des humains à réagir de façon créative devant l'imprévu grâce à leur *corps émotif*.

Simondon a perçu de façon prophétique la tentation de l'automatisation totale :

« L'homme cherche à construire la machine à penser, rêvant de pouvoir construire la machine à vouloir, la machine à vivre, pour rester derrière elle sans angoisse, libéré de tout danger, exempt de tout sentiment de faiblesse, et triomphant médiatement par ce qu'il a inventé. Or, dans ce cas, la machine devenue selon l'imagination ce double de l'homme qu'est le robot, dépourvu d'intériorité, représente de façon bien évidente et inévitable un être purement mythique et imaginaire. »

19. Ray Kurzweil, *The Singularity is Near*, Penguin Books, 2006.

20. Antonio Damasio, *The Feeling of What Happens*, Mariner Books, 2000.

(Gilbert Simondon, *Du mode d'existence des objets techniques*, Aubier, 1958, p. 12).

La voie de la conduite assistée, de la « délégation de conduite », est plus réaliste mais elle n'est pas facile pour autant. Comment faire pour qu'un conducteur « assisté » ne cède pas à la somnolence ? Pour que l'automate lui envoie assez d'informations pour le tenir éveillé, mais sans le soumettre à une surcharge mentale ?

Il en est de même pour la production : quelle doit être la part des automatismes dans la conception de la voiture, sa fabrication et les services qui l'accompagnent ? Quelle doit être celle de la créativité, de la responsabilité humaines ?

Alors que la qualité esthétique d'une automobile entre pour beaucoup dans le désir de la conduire, peu de voitures récentes sont qualifiées de belles : confié à des comités le *design*, intimidé, a comme par compensation adopté des formes banalement agressives. La réussite de la Fiat 500 fait espérer un retour à la hardiesse des créateurs individuels.

Le secret d'une informatisation réussie réside dans la qualité et la complémentarité du couple que forment désormais le cerveau humain des individus et l'automate programmable de l'informatique. Ce secret, l'industrie automobile doit le conquérir : c'est celui de l'icône.

Annexe : les partenariats équitables dans l'ïconomie

L'ïconomie est l'ïconomie du risque maximum en raison de l'importance des coûts fixes dans le coût de production : la quasi-totalité de celui-ci est en effet dépensée avant que l'entreprise n'ait vendu la première unité et reçu la première réponse du marché. Dans l'ïconomie la plupart des produits seront donc élaborés par un réseau de partenaires car cela permet de réduire le risque que supporte chaque entreprise.

Au cœur du partenariat se trouve une plate-forme d'intermédiation qui a pour rôle :

- de remplir entre les systèmes d'information des partenaires la fonction de traduction et de commutation qui assure l'interopérabilité du processus de production ;
- d'assurer le traitement des « effets de commerce » en procurant au partage des dépenses et recettes la transparence qui garantit son honnêteté.

Un partenariat inéquitable, dans lequel un des partenaires se fait tromper par les autres, aboutira cependant bientôt à un divorce. Le partenariat sera équitable s'il est également rentable pour chaque partenaire : il faut donc que le partage des dépenses et des recettes soit tel que le taux de rentabilité soit le même pour tous. Il faut cependant surmonter trois difficultés.

1) Le taux de rentabilité s'évalue, dans le cas simple où la variation annuelle de la trésorerie disponible (VTD) que procure le projet est constante²¹ et où la durée du projet est infinie, par le quotient VTD/K où K (valeur du capital engagé dans le projet) est le coût de l'investissement initial. Il s'agira souvent un capital de compétence : il faut un effort d'évaluation que la comptabilité ne fait pas actuellement.

2) L'échec du projet entraînerait pour certains une perte qu'ils peuvent supporter, pour d'autres une faillite. Le risque n'est pas le même : le taux de rentabilité doit donc comporter pour chaque partenaire la prime de risque qui correspond au risque qu'il encourt.

C'est le taux de rentabilité *hors prime de risque* qui doit être

21. La VTD est la somme du flux net de trésorerie, ou cash-flow, et de la VBFR (variation du besoin de fonds de roulement).

égal pour tous les partenaires ; le taux de rentabilité comprenant la prime de risque sera donc différent. L'évaluation de la prime de risque de chaque partenaire est évidemment délicate.

Quoi qu'il en soit des difficultés pratiques, l'évaluation du capital que chacun engage dans le projet et sur celle du risque que chacun encourt se décident lors de la négociation du contrat de partenariat.

3) Celui des partenaires qui maîtrise la plate-forme d'intermédiation sera souvent à l'initiative du *design* du produit et de l'ingénierie d'affaire qui organise le partenariat. Il occupe dans le réseau une position centrale, mais un partenariat est par principe une relation d'égal à égal. Pour surmonter la contradiction qui semble en résulter on peut s'inspirer des projets de logiciel libre que pilote un « dictateur bienveillant ».

Les contributions bénévoles vont de l'écriture d'une part essentielle du code à la correction d'une faute d'orthographe dans un commentaire. Certaines sont précieuses, d'autres inutiles ou nocives. Il faut que quelqu'un puisse choisir celles qui seront retenues et rejeter les autres : c'est la fonction du « dictateur », mais il faut qu'il soit « bienveillant » car sinon le flux des contributions se tarirait. Il doit remercier chaque contributeur et l'encourager à continuer, quelles que soit la qualité de sa contribution.

Le « dictateur bienveillant » est un praticien du « commerce de la considération », d'une écoute attentive qui manifeste le respect accordé à chacun en lui répondant de façon obligeante. Celui qui exploite la plate-forme d'intermédiation d'un partenariat doit pratiquer ce « commerce de la considération » envers les autres partenaires, et sa rentabilité hors prime de risque doit être égale à la leur.

Annexe 2 : le commerce de la considération

Dans l'entreprise type de l'économie la plupart des personnes réalisent un travail de bureau. Les fonctions de la première ligne, du « back-office » et de la conception s'enrichissant, il faut les faire tenir par des personnes compétentes : l'entreprise de l'économie obéit à une *économie de la compétence*.

La sociologie se condense ainsi dans une même classe moyenne. Certes, ce n'est pas une sociologie égalitaire mais la frontière entre cols bleus et cols blancs, qui se voyait naguère à l'habillement, la coiffure, la peau des mains, l'état de santé, etc. ne se retrouve plus dans l'entreprise contemporaine.

La diversification des tâches fait cependant contraste avec l'uniformisation des apparences. La sécurité des systèmes d'information, à elle seule, nécessite plusieurs spécialités dont chacune suppose un travail à plein temps. Par ailleurs l'automatisation, en apportant assistance aux fonctions de première ligne ou de back-office, dégage l'exécutant des fonctions routinières et lui permet de se consacrer à des tâches qui supposent décision, esprit de synthèse et esprit de responsabilité.

Or des personnes compétentes ne peuvent travailler de façon efficace que si elles sont insérées dans une organisation qui leur permette de se faire comprendre. À quoi sert en effet l'expert, si ce qu'il dit reste lettre morte parce que les décideurs ne comprennent ni son langage, ni son raisonnement ?

L'entreprise ne peut former et conserver des personnes compétentes, les spécialistes ne peuvent coopérer que s'ils savent pratiquer le « commerce de la considération » qui consiste à *écouter celui qui parle en s'efforçant sincèrement de comprendre ce qu'il veut dire*.

Il s'agit bien d'un *commerce*, d'un échange, car il ne peut se maintenir dans la durée que s'il est équilibré : celui qui offre sa considération doit recevoir en retour une considération équivalente.

Il ne s'agit pas de morale, mais d'efficacité - mais qui se plaindra si les exigences de l'efficacité rencontrent ici celles des relations interpersonnelles ?

Pour se convaincre de l'impératif du commerce de la considé-

ration, il suffit de voir ce que perd l'entreprise lorsqu'elle ne sait écouter ni le chef de projet qui fait part d'une difficulté de réalisation, ni l'agent de la première ligne qui rend compte d'un incident survenu sur le terrain.

Références

ATKearney, « Roadmap towards Autonomous Driving », 4 septembre 2015.

John Austin, « How to do Things with Words », *Oxford University Press*, 1962.

Jean-Pierre Corniou, « 1,2 milliards d'automobiles, 7 milliards de terriens, la cohabitation est-elle possible ? », *Économie Matin*, 21 novembre 2012.

Jean-Pierre Corniou, *1,2 milliard d'automobiles, 7 milliards de terriens*, Lignes de Repères, 2012.

Jean-Pierre Corniou, « Electrique, hybride, hydrogène, la voiture de demain se cherche toujours », *jeanpierrecorniou.typepad.com*, 29 avril 2015.

Jean-Pierre Corniou, « La voiture sans conducteur, réaliste ? », *jeanpierrecorniou.typepad.com*, 26 octobre 2014.

Antonio Damasio, *The Feeling of What Happens*, Mariner Books, 2000.

Jack Ewing, « Apple and Google Create a Buzz at Frankfurt Motor Show », *The New York Times*, 17 septembre 2015.

Sean Gallagher, « Highway to hack : Why we're just at the beginning of the auto-hacking era », *Ars Technica*, 23 août 2015.

Nicolas Hayek, *Au-delà de la saga Swatch : entretiens d'un authentique entrepreneur avec Friedemann Bartu*, Albin Michel, 2006.

Mark Harris, « Documents confirm Apple is building self-driving car », *The Guardian*, 14 Août 2015.

Neil Hughes, « Piper Jaffray sees 'apple car' as longterm project with potential short-term effect on stock », *AppleInsider*, 2 sept 2015.

Serge Janouin-Benanti, *Le centenaire aux 1000 voitures*, Cheminements, 2003.

Luke Kawa, « Here is why Carl Icahn thinks that Apple will surge to \$240 per share », *Bloomberg Business*, 18 mai 2015.

J. C. R. Licklider, « Man-Computer Symbiosis », *Transactions on Human Factors in Electronics*, mars 1960.

Ray Kurzweil, *The Singularity is Near*, Penguin Books, 2006.

John Markoff, "A Machine in the Co-Pilot's Seat", *The New*

York Times, 20 juillet 2015.

Geoff Ralston, « The Electric Car », *Geoff's Blog*, 13 juillet 2015.

Philip E. Ross, « Why Three German Carmakers Will Pay \$3 Billion for Nokia's Mapping Service », *IEEE Spectrum*, 4 août 2015.

Zeynep Tufekci, « Why 'Smart' Objects May Be a Dumb Idea », *The New York Times*, 10 août 2015

Tien Tzuo, « Quand la situation de l'industrie automobile se met à ressembler à celle d'IBM en 1985 », *infoDSI*, 1er septembre 2015.